

“黒部の自然に触れた時、僕は自分の小ささを感じた。
自分はなぜここにいるのか？
その畏敬の念を伝えたい・・・”

※この言葉は、監督が初めて黒部を訪れた時に書いたメモ。この時の感情が、今回の作品のコアになりました。

「剣の山」、この作品は地球物理学を扱った科学映画です。激しい隆起を続けている山々、僕たちの時間尺度では感じ得ないこれらの活動は、地殻が動くプレート運動によるものであり、そのプレートを動かすマントル対流の原動力は、地球が誕生したときの熱にまで遡ることになります。そしてそのプレート運動こそが、生命を生み出す環境を、地球上につくったのです。山を知ることは自分たちのいのちが、宇宙と繋がっていることを示す証でもある…この作品は、そんなテーマでつくられました。

僕はこれをストーリーを持った青春映画に落とし込みました。多くの人にこのテーマを伝えるためには、科学映像の解説スタイルではなく、物語性のあるドラマにしようかと考えたのです。自然や宇宙を語る時、なるべく身近なところから始めないと、それは別世界の出来事としてしか捉えられず、他人事で終わってしまいます。ですから自分たちに近い、黒部に住む子供たちを主人公にして物語を組み立てました。登場人物たちを通して、自ら感じ、自ら気付いてもらうこと。これが一番重要なことです。

どうぞ立山黒部の素晴らしい自然、そして子供たちのドラマを楽しんでいただき、宇宙、地球と、いのちの繋がりに、想いを馳せていただければと思います。

2018年2月

監督・脚本 上坂浩光

監督あいさつ	1
黒部市吉田科学館からのメッセージ	2
登場人物紹介	3
撮影中のエピソード	4
水循環—暮らしをつくり、地形をつくる水のめぐり	5
称名滝—移動し続ける滝はどのようにしてできたか	6
剣の山・飛騨山脈はどうして高くなったか	7,8
銀河の中の太陽系	9
太陽系の中の地球	10
地球—水がつくったプレートテクトニクスの星	11
水が生み出した生命	12
地球の未来像	13,14

黒部市吉田科学館からのメッセージ

私たちの暮らしは、自然の恩恵を受けて成り立っています。海や山などの大地があり、そこに地理的・地形的条件などから生ずる気象現象によって生態系が成り立ち、それらを基盤として私たち人類が生活しています。私たちは、暮らしの基盤となっている自然環境なしに生活することはできません。

人類が安定して存続していくためには、自然環境がどのようにして生まれ、私たちとどのように関わっているかを知ることが必要です。

ジオパークとは、「大地の公園」を意味しており、地域内外の人々がその地域の成り立ちを知って、環境保全活動・教育活動を行い、持続可能な発展的社會を目指す場です。ジオパークでは、地域についての科学的な視点が強調されがちですが、できるだけ多くの人々に立山黒部ジオパークのことを伝えるために、科学映画であるだけでなく人間ドラマでもあるこの作品を作りました。

今後、この映画をご覧になった方々が、持続可能な発展的社會を目指すため、私たちの暮らすジオパークエリアの自然と文化に興味を持ち、環境保全や教育について取り組んでいただけることを願っています。

登場人物紹介

まつむらあつし
松村篤司

学生時代は山岳部に所属し、現在は科学部顧問（専門は地球科学）。剣の父親である稔と共にザイルを結び、山を駆けた。地球科学を愛する教育者として、独自の自然観、生命観を持っている。科学部顧問の教師として剣を導く。

こじまみほ
小島美星

剣の幼馴染。父親を亡くした剣を心配している。幼い頃はよく遊んだが、成長するにつれてその関係は遠ざかる。剣のことを誰よりも理解できる相手でありたいと思っている。

ひろせ けん
広瀬 剣

本作の主人公。美星とは家が近く、幼馴染である。幼いころ、父に連れていかれた山で見た美しい星空に魅せられ、宇宙に興味を持っている。いつもは控えめな性格だが、宇宙の事となると、情熱的な一面を見せる。父の命を奪った山に対して複雑な思いを抱いている。

わたべ
渡邊ひろみ

東京からの転校生で、裏表のない性格。科学部のリーダー的存在。この合宿に参加する前は黒部の事も、メンバーの事もよく知らなかった。理解力があり、この合宿によって、剣の置かれた立場、それに対するみんなの気持ちを深く理解できるようになる。

おおほやしきち こ
大林幸子

科学部のムードメーカーである男子と仲が良く、よくちょっかいを出される。

ごとう たくや
後藤拓也

天才肌の理系少年。数字に減法強く、暗記もできる。よく腹痛を起こして周囲を心配させるが、本人は慣れている。



撮影エピソード

① なかなか梅雨明けしなかった北陸地方

映画の撮影は2017年の7月下旬から8月上旬にかけて行われました。例年ならこの時期は梅雨が明け、輝く屏風のような立山連峰が見えているのですが、この年の立山連峰は分厚い雲の中でした。撮影は常に変化する空模様を翻弄され続け、結局この年の梅雨が明けたのはちょうど立山地域での撮影が終了した8月2日でした。

↑ 晴れを願ってみんなで念を送る！

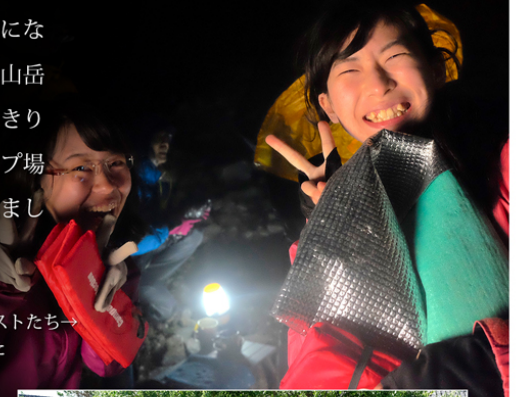


願いを託された、てるてる坊主 →

② 夏でも夜は寒い！

剣沢キャンプ場では、撮影した7月末でも、夜になるとダウンジャケットが必要なほど寒くなり、山岳ガイドの方々が皆の体温が下がらないようひっきりなしにお湯を沸かしてくださいました。キャンプ場のシーンは撮影の許可を得て日没後まで行われました。

撮影の合間に暖をとるキャストたち→
気温は0℃まで下がりました



③ 最新機材をアナログ機材に乗せて

冒頭の登校シーン。撮影場所は黒部市の飯沢地区。この周辺はほとんどの家庭で掘り抜き井戸を持っています。実は、近隣の町内からリヤカーを提供していただき、カメラマンが乗って撮影しています。映画の撮影は新しい技術を使うことが多いですが、実はアナログなものが大活躍しているのです。



リヤカーに乗って撮影するカメラマン

水循環 一暮らしをつくり、地形をつくる水のめぐり

私たちの普段使っている水は、地球上のあらゆる場所で固体・液体・気体と姿を変えながら循環しています。ここでは、私たちの暮らしの周りをどのように水が循環しているかを見てみましょう。



<立山黒部ジオパークの水循環>

黒部 3,000m 級の北アルプスからは、国内屈指の急流河川が幾筋も流れ下り、下流には広大な扇状地や沖積平野が広がります。地形の急峻さは富山湾でも見られ、海岸から沖にむかって急に深くなり、最も深い部分は水深 1,000m を越えています。そびえ立つ山々、扇状地、深い富山湾と高低差 4,000m の空間が作られているのです。

日本海には対馬海流という暖流が流れているため、海面から活発に蒸発が起き、多量の水蒸気が上空へ運ばれます。この水蒸気は上空で雲となり、飛騨山脈に大量の雨や雪を降らせませす。

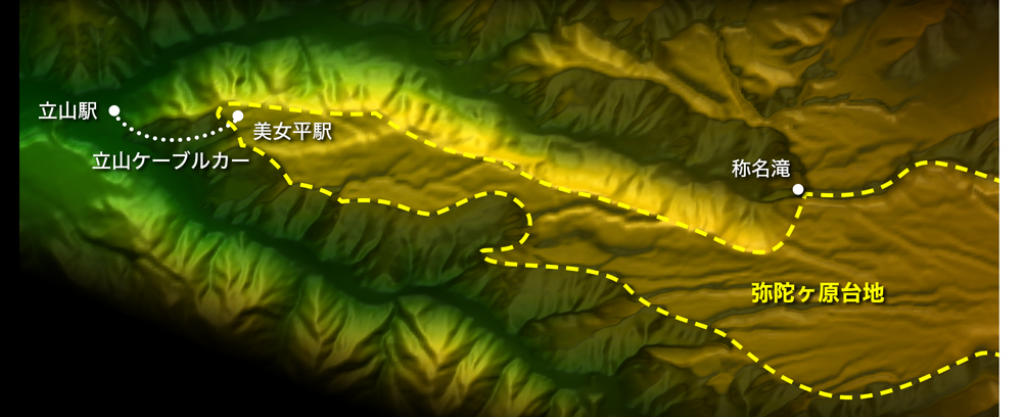
飛騨山脈は、積雪が 20m に達することもある世界的な豪雪地帯で、最近、氷河が現存していることが日本ではじめて発見されました。飛騨山脈に積もった雪は春になると融け始め、幾筋もの川に姿を変えて下流に多量の水を運びます。流れ下る水は大地を削って深い谷をつくり、川を流れる水によって運ばれた土砂は平野に出ると広大な扇状地をつくります。山間部の豊富な水は、河川水や地下水となって扇状地を下り、やがて水循環の終わりであり始まりでもある海に戻ります。

地下水となって流れ下った水の一部は、扇状地の末端部で湧き水として再び地上に姿をみせます。黒部市に住む人々は、この湧き水を清水と呼び、昔から生活に利用してきました。

称名滝 一移動し続ける滝はどのようにしてできたか

称名滝は、弥陀ヶ原の縁にかかる 4 段 350 m という日本一の落差をもつ滝です。この称名滝が流れる崖を一望すると、立山火山の噴出物が堆積している様子を見ることができます。弥陀ヶ原は、立山黒部アルペンルート沿いに東西約 12 km にわたる広大な台地です。この地域は、約 20 万年前から火山活動が活発な場所でした。立山ケーブルカーの車窓からは溶岩流や火砕流などによってつくられた岩石を見ることができます。

今から約 10 万年前、立山火山で発生した火砕流が堆積し、溶結凝灰岩の台地がつけられました。それが現在の弥陀ヶ原なのです。火砕流は、どろどろとマグマが流れる溶岩流とは違い、噴煙に含まれる高温の軽石や火山灰・火山ガスが高速で流れ下る現象です。



弥陀ヶ原の台地をつくった火山活動の終息後、現在の称名滝がつけられました。この日本一の滝をつくったのは水の力なのです。

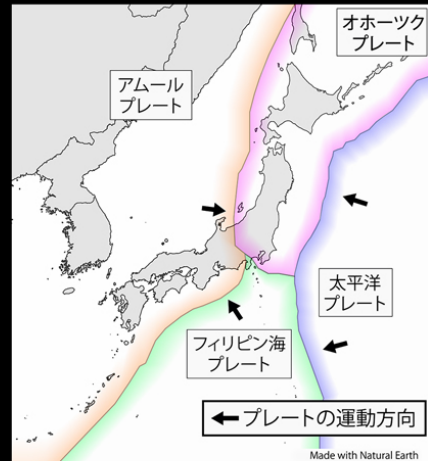
称名滝は、今から約 7 万年前の時点では、現在よりも約 7 km 下流の立山町千寿ヶ原 (立山駅) 付近にかかっていたと推測されています。その後、強大な水の力により平均すると 1 年間に約 10 cm 程の速度で岩盤を侵食しながら後退し、現在の位置に至ったといわれています。このように、立山の水による侵食の力はすさまじく、時々刻々と大地の姿を変えているのです。



<日本一の落差を誇る称名滝>

剣の山・飛騨山脈はどうして高くなったのか

立山黒部ジオパークを象徴する飛騨山脈はどのようにつくられたのでしょうか。この疑問を解決するには、日本列島の地学的な位置を知る必要があります。

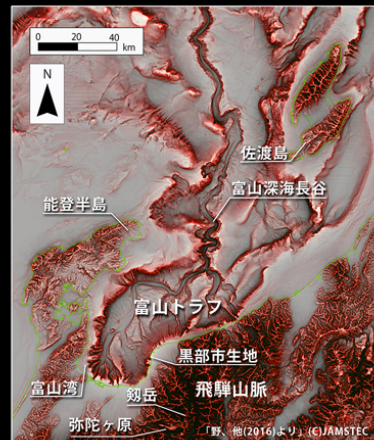


中部地方は地球上でも珍しい4枚のプレート（アムールプレート、オホーツクプレート、フィリピン海プレート、太平洋プレート）が、互いに沈み込んだり衝突したりしています。立山黒部ジオパーク周辺はアムールプレートがオホーツクプレートに対して衝突しており、飛騨山脈や富山湾の形成と深くかかわっています。

<プレート境界位置図>
プレート境界位置：Wei, D. and Seno, T. (1998) を基にトレスした。
基図：Natural Earth (http://www.naturalearthdata.com/) を基に作成した。

飛騨山脈の生い立ち/プロセス (どのように高くなったのか)

- ① およそ 2800 万年前、東西に引き裂かれる力によって大陸から日本列島が離れ、日本海が誕生しました。当時、現在の中部地方となる地域は、非常に硬く侵食に強い岩盤（飛騨変成岩類）できており、標高 2000 m に達する程度でした。
- ② その後、沈降運動も伴って、日本列島が大陸から離れた時にできた割れ目に富山トラフがつけられ、海となります。富山トラフの南端は現在の富山湾となっています。
- ③ さらに時代が進み、西日本側では 1000 万年、東日本側では 500 万年前に、東西に引き裂かれる力 (←→) から、押される力 (→←) がかかるように変化して、いよいよ隆起が始まります。

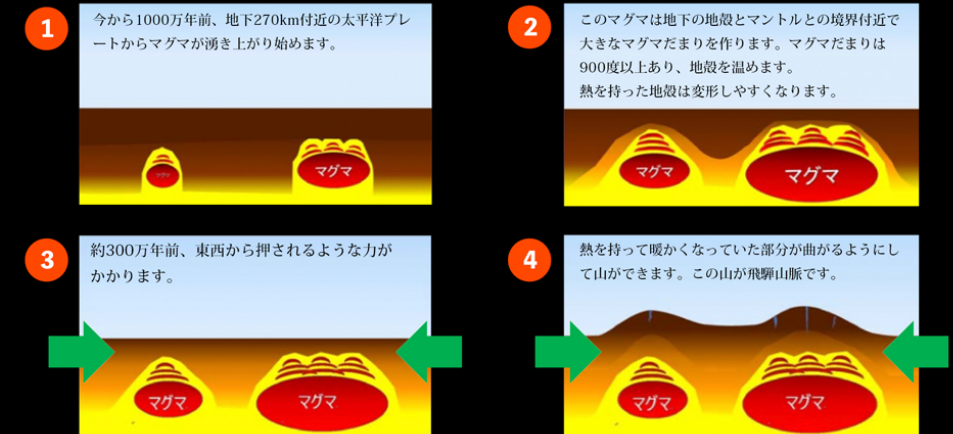


<富山トラフおよび飛騨山脈の位置図>

野・他 (2016) で示された富山湾の海底地形の赤色立体地図に地名・方位・スケールを加筆し、トリミングした。赤色立体地図はアジア航測株式会社の特許技術である。幅 20 km 以上の平坦な海底が富山湾から沖に向かって延びる様子が見える。この地形を富山トラフという。富山トラフの海底は水深 1000 m 以上に及んでいる。

飛騨山脈の隆起/メカニズム (なぜ高くなったのか)

近年、詳細な地質調査に加えて、人工地震などによって、地下構造の様子がわかってくるようになり、飛騨山脈の形成メカニズムが明らかになってきました。



飛騨山脈の立山黒部地域は、900 万年前から 80 万年前にかけて地下深部でマグマが断続的に沸き上がっては固まった岩石からなる岩盤できています。また、現在山脈の地下 50 ~ 150 km の深さにマグマだまりと思われる熱源が存在すると考えられています。

このような大規模かつ広域的なマグマ活動があると、地面は変形しやすくなります。加えて、立山黒部地域では、プレート運動によって東西から押される力が集中していることから、急激な隆起が起きやすくなっています。

また、先にも説明したように、この地域は、非常に硬い飛騨変成岩類という岩盤できています。飛騨山脈が高い山々からなる理由として、単に隆起速度が速いだけでなく、侵食されにくい岩石でできていることも挙げられます。

飛騨山脈のでき方のまとめ

- ・ 飛騨山脈は飛騨変成岩類という硬い岩石でできているので侵食されにくい
- ・ 900 万年前からマグマが上昇し、地殻が温められて変形しやすくなった
- ・ 東西から圧縮される力がかかり、急激に隆起した

銀河の中の太陽系

星空を見上げてみよう。星座をつくる星たちは、すべて太陽と同じように自ら輝いている恒星です。これらの星たちは、太陽系に極めて近い（数百光年以内）ところに位置しています。太陽系は、恒星が数千億個集まった巨大な集団である銀河系に属しています。銀河系の中心部分は古い星の集団であり、その周りを若い星と水素ガスの巨大な塊（分子雲）が薄い円盤状に集まっています。その半径は約5万光年、太陽系は、銀河系の中心から約2万4千光年も離れた場所にあるのです。

地球から星空を見上げると、この円盤の内側から星たちを見ることとなり、多くの星が帯状に集まっているように見えます。これが天の川の正体です。夏の夜に剣沢キャンプ場から星空を見上げると、南西のいて座付近から天頂付近の夏の大三角を通り、東の空まで天の川が架かる様子を見ることができます。まるで剣岳の上に淡い橋を架けたようで、大変美しい光景が広がっています。映像の中に、秋の天の川の東側に淡くアンドロメダ銀河を見ることができますが、これは、銀河系と共に局部銀河群をつくっている巨大な星の集団です。

太陽系の中の地球

今から46億年ほど前、銀河系の端にあった一つの分子雲が収縮を始め、その熱で原始太陽が輝き始めました。その周りに水素やヘリウムなどの軽いガスと氷や固体微粒子（ダスト）からなる原始惑星系円盤がつくられています。その中でダストが集積し、数kmサイズの微惑星が多数つくられました。ところで、原始太陽の熱で氷が融ける領域の境界（スノーライン）は現在の小惑星帯の付近で、この内側の微惑星は石や金属を主成分としています。これら無数の微惑星が衝突合体を繰り返して、惑星がつくれ、その中の一つが私たちの地球なのです。

この地球の水の起源は、彗星などの衝突によって水が取り込まれたという説が有力です。彗星は、スノーラインより遠方で形成された氷を主成分とする微惑星が、何らかの原因で太陽系の中心部に落ちてきた天体です。地球の形成期には多くの彗星が衝突し、これらの水が現在の地球の海をつくったと考えられています。ちなみに、流れ星（流星）は、彗星が放出したダスト（宇宙塵）が地球大気に衝突して発光する現象です。すなわち、流星の光の中には、太陽系形成期からの46億年の歴史が記憶されているのです。

© 大西 浩次

<コラム>

- 銀河の中心の近くは、超新星爆発などによって、生命にとって有害な電磁波にさらされることが多く、私たちのように大型の生物が安定して生存できる環境ではないだろうと考えられています。私たちの太陽系が位置する場所は、銀河の中心から離れているため、生命が生まれやすい環境だったのかもしれませんが。
- 最近、太陽系の外にも恒星の周りを回る惑星が数多く発見されています。このような惑星の中で生命が存在する星はあるのでしょうか。ここで鍵となるのが水の液体の存在です。水が液体として存在するには、太陽からの適切な距離と大気を留める適度の重力が必要です。太陽系では、太陽-地球間の距離の0.9倍から1.2倍というきわめて狭い範囲に限られます。宇宙の中で、この地球の様な環境が奇跡的にできたものなのか、あるいは普遍的に存在するものなのかどうか今の最先端の研究テーマとなっています。

地球—水がつくったプレートテクトニクスの星

地球形成後期になると、巨大な原始惑星同士が衝突するようになります。地球の海は、月が形成されるジャイアントインパクト後にできたのではないかと考えられています。地球は海ができたことにより、特別な存在に変化していくことになります。

プレートテクトニクスは、冷たくて硬い岩盤（プレート）と、力強いマントルの対流が起こす循環運動です。太陽系の岩石惑星の中で、プレートテクトニクスが起こっているのは地球だけです。では、なぜプレートテクトニクスは地球だけにしかないのでしょうか。その答えは、40億年以上前から存在する海にあります。

海のない金星では、地殻とマントルの境界部分が滑るため、マントルの対流が地殻に影響を及ぼすことはありません。

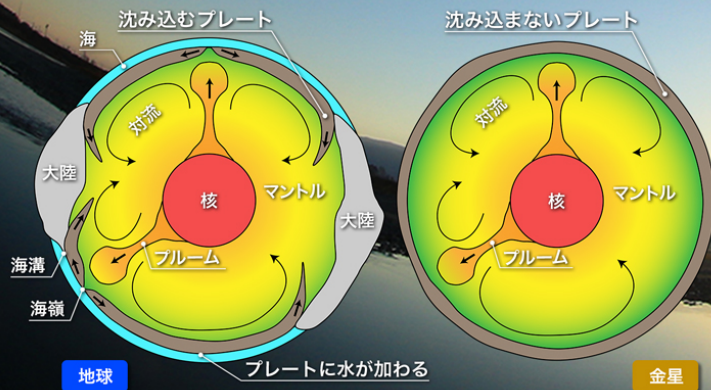
一方、地球はプレートに水が加わることによって、高温・高圧である地下深部でも柔らかくならず、割れたり折れ曲がる性質になります。プレートテクトニクスは、地球に豊富な水があるからこそ起こるのです。

水が生み出した生命

もう一つ地球が他の惑星と大きく違うのは、生命が存在することです。

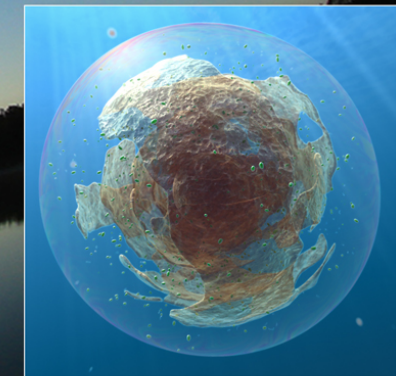
生命は、水がなければ誕生しませんでした。エタノールやほかの液体の中では生命が誕生することはありません。水は、化合物の中でも特殊な存在です。その最大の特徴は、水分子の酸素原子が電気的に-の性質を持ち、水素原子が電気的に+の性質を持つ「分極」という状態になっていることです。この特徴を持っているために、水は他の物質とは異なる様々な性質を持っています。生命の誕生には、物質を溶かす水の性質が欠かせません。例えば、水はイオン（Na⁺、K⁺、Cl⁻）、糖、アミノ酸を溶かすことができる一方で、脂質を溶かすことができません。このような性質があるため、水の中や表面で脂質が膜をつくることができます。

このような、水の中に様々なイオンが溶け、脂質の膜があるという形は、生命の基本設計です。地球に生命が誕生した時期については、様々な説がありますが、遅くとも36億年前には誕生していたようです。



<地球・金星内部のマントル対流の模式図>

広島大学 HP (https://www.hiroshima-u.ac.jp/koho_press/press/2013/2013_165) を参考に、地球と金星の内部で起こるマントル対流の模式図を示した。



「真核生物」(HORIZON~宇宙の果てにあるものより)

<コラム>

- 生命の誕生には、プレートテクトニクスが必要だったとする説を唱える研究者がいます。プレートが生産される海嶺やプレートが沈み込む海溝では、熱水活動が盛んなため、黄鉄鉱という表面が触媒として作用する鉱物がたくさんつくられます。このような環境を利用して、最初の生命が現れたのではないかとわれています。

地球の未来像

銀河の端で生まれた太陽系の中で、水が液体で存在する場所で作られた地球。水がプレートテクトニクスを引き起こし、プレートテクトニクスによってつくられる大地で私たち生命が生まれました。地球は生命にとってまるで理想郷のように思えます。では、この環境は永遠に続くのでしょうか？地球の将来の姿については、多くの研究者によって様々な説が唱えられています。それらの説では、今の環境が永遠に保たれることはないだろうと考えられています。数十億年後の地球は赤色巨星になった太陽の影響を受け、まるで別の星のように高温になっており、生物が住める環境ではなくなってしまうということです。

地球の将来はどのような姿になるのでしょうか。それを知るためには、現在の環境をつくっているいくつかの要因と、その相互関係を知らなければなりません。地球の未来については、現在起きていることが未来も続くのか予想できない部分もあり、説として確定していません。

作品の中で松村先生が言っていたのは、次のような説です。

地球は、液体の金属でできている外核が作り出すと考えられている磁場によって太陽風から守られており、地球が今のペースで冷え続けると、30-40億年後には、磁場を発生させている外核がすべて固体になり、磁場がほとんどなくなる。すると、太陽風によって水素などの軽い元素から吹き飛ばされ、地球の大気は次第に宇宙空間に散逸する。

地球の磁場の発生源については、まだよくわかっていません。したがって、外核が固体になった場合に、本当に磁場がなくなるかどうかについてもまだよくわかっていません。今後の研究が待たれます。

この冊子を発行するにあたり、富山大学の竹内章名誉教授、長野工業高等専門学校の大西浩次教授、立山カルデラ砂防博物館の飯田肇氏、有限会社ライブの上坂浩光氏に一部を執筆していただいたほか、有益な助言をいただきました。ここに深謝の意を表します。

編者

<引用文献>

*広島大学 「金星にプレートテクトニクスが存在しない原因について新たな粘性構造モデルを提唱！」
https://www.hiroshima-u.ac.jp/koho_press/press/2013/2013_165 (2013年4月17日)

*Natural Earth (<http://www.naturalearthdata.com/>)

*野 徹雄・平松孝晋・佐藤 壮・三浦誠一・千葉達朗・上山沙恵子・宍岐信二・小平秀一, 2016, 日本海及びその周辺の地形データの統合と赤色立体地図. JAMSTEC Rep. Res. Dev., 22, 13-29.

*Wei, D. and Seno, T., 1998, Determination of the Amurian plate motion. In Flower, M., Chung, S. L., Lo, C. H. & Lee, T. Y. eds. Mantle Dynamics and Plate Interactions in East Asia. *Geodynamics Series*. 27, 337-346.

「地球最後の姿」(Dana Berry / Skyworks Digital / CfA より)